doi:10.13866/j.azr.2019.05.08

新疆策勒绿洲—沙漠过渡带不同下垫面风场特征①

毛东雷[1,2]， 蔡富艳[3]， 杨雪峰[1]， 王雪梅[1]， 来风兵[1]， 薛 杰[2,4]

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院/新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830054；
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011；
3. 乌鲁木齐职业大学应用工程学院，新疆 乌鲁木齐 830002；
4. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站，新疆 策勒 848300)

摘 要：以新疆策勒2010年8月至2011年7月的气象数据为依据，运用数理统计方法，对策勒绿洲—沙漠过渡带流沙地、半固定沙地、固定沙地及绿洲内部4个下垫面的风况进行统计分析，为风场的时空差异特征和植被防风阻沙效益研究提供理论依据。结果表明：研究区4个下垫面主风向以WNW、W为主，所占频率分别为41.43%、33.74%。从流沙地、半固定沙地、固定沙地到绿洲内部，静风所占的频率依次为44.30%、52.44%、54.29%和85.39%，随着风速的增大，其所占频率依次减小，气温与风速均呈现同步变化的趋势。较高起沙风频率与起沙风月平均最大风速多出现在春、夏两季，6月频率最大，虽然最大值出现月份不同，但变化趋势相似。从绿洲外围向绿洲内部风向不同，且主风向所占频率减少，表明植被能削减风速并使风向变得更加分散。平均风速、起沙风频率从流沙地到绿洲内部逐渐减小(少)。月平均风速、气温之间呈显著相关性，且从流沙地前缘到绿洲内部相关性逐渐减弱。植被类型、植被覆盖度和地形等是影响不同下垫面风场特征的主要因素。

关键词：绿洲—沙漠过渡带；下垫面；风向；风速；起沙风；频率；气温；策勒

绿洲—沙漠过渡带是沙漠与绿洲生态系统的连接地带，其生态脆弱、易变、敏感，是沙漠与绿洲生态系统间物质循环、能量转换、信息传递的场所[1]。穆桂金等[2]研究了策勒绿洲—沙漠过渡带，发现过渡带是乡土动植物重要的保留与保护地，对地貌、土壤及植被具有保护功能。Hadas 等[3]研究了以色列内盖夫沙漠农村地区“绿洲效应”的不同结果，指出轻微的“绿洲效应”出现在早上和下午。王柯等[4]研究了塔克拉玛干沙漠腹地特征层的风场特征，指出塔中地区的风场结构与其所处地理环境以及气候特征是紧密相关的。张克存等[5]研究了典型天气背景下绿洲—沙漠过渡带近地表风的空间变化特征，指出受绿洲—沙漠过渡带的影响，从流沙前缘到绿洲方向，平均风速、起沙风均逐渐减小，主导风向也发生了相对的偏移。陈渭南等[6-10]研究了塔克拉玛干沙漠和柴达木盆地的起沙风速、风况和风沙活动特征。杨东亮等[11-14]研究了策勒绿洲—沙漠过渡带风况的统计问题、库姆塔格沙漠东缘、策勒荒漠—绿洲过渡带的风况及输沙势等。张正偲等[15]研究了黑河流域中游沙漠的风沙环境及地貌。组瑞平等[16]研究了塔克拉玛干沙漠近地面的风场特征，发现在夏季，克里雅河以西盛行西风和偏西北风，以东盛行东北风，在冬季，尼雅河以东盛行偏东风，以西盛行偏西风。杨佐涛[17]研究了策勒戈壁与绿洲内的风向风速的关系，表明戈壁沙丘的平均风速明显大于绿洲内的平均风速。植被覆盖度和地形是影响策勒绿洲—沙漠过渡带及绿洲内部不同下垫面风沙活动强度的主要因素，策勒绿洲—沙漠过渡带流沙地的月平均风速、气温呈较好的正相关性[18-19]。虽然不同学者对不同地区的沙漠、绿洲风况及风沙环境等展开了研究，但针对绿洲—沙漠过渡带及绿洲内部不同下垫面风场特征差异的综合研究较少。本文研究策勒绿洲—沙漠过渡带及绿洲内部不同下垫面的风场特征，有助于加深理解天然植被及农作物等对局地风速及风向变化的影响，以期为绿洲—沙漠过渡带生态系统的恢复、为绿洲建立合理的防风阻沙措施提供理论依据和科学支撑。

① **收稿日期：**2018-09-25； **修订日期：**2019-03-10
基金项目：新疆维吾尔自治区创新环境(人才、基地)建设工程(自然科学基金)面上项目(2018D01A33)资助
作者简介：毛东雷(1975-)，男，副教授，博士，主要从事风沙地貌及荒漠化防治方面研究. E-mail:donglei6325@sina.com

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

策勒县位于新疆西南部,塔克拉玛干沙漠南缘,昆仑山北麓,地理位置为 35°18′~39°30′N、80°03′~82°10′E。策勒县属暖温带荒漠干旱气候区,昼夜温差大,日照长,降水量少,蒸发量大,年均气温 11.9 ℃,年均降水量 33 mm。极端最低气温 -23.9 ℃,无霜期为 209 d。策勒县的风沙天气对人们的生产生活影响很大,每年 8 级以上的大风 3~9 次[20]。由此所形成的植物种类和数量都较少,在策勒绿洲—沙漠过渡带上,即由北向南形成了胡杨、芦苇、柽柳和骆驼刺等植物群落分布格局。

1.2 数据来源与研究方法

从策勒绿洲—沙漠过渡带流沙前缘至绿洲内部选取 4 个下垫面,依次布置 4 个型号为 HOBOU30(美国 Onset 公司)自动气象观测站(图 1)。每个气象站安装 0.5、1、2、4、8 m 共 5 层高度风速风杯和 10 m 高的风速风向标,每个气象站测定 0.5 m 和 2 m 高处的气温、大气相对湿度等。通过野外植被样方调查的方式计算绿洲—沙漠过渡带 4 个下垫面植被覆盖度,样方面积 100 m×100 m,夏季用基站测定 1~4 号点地表断面线地形,1~4 号点植被盖度逐渐增加,依次为 3%、27%、67% 和 80% 以上(表 1),1 号、3 号、4 号观测站点地势相对平坦,2 号观测站点地势起伏相对较大,主要在上风向分布有高大的柽柳灌丛沙堆链,1~4 号观测点地表断面线地形总体逐渐升高,1 号和 4 号气象观测站点之间的相对垂直高差为 32 m(图 1)。气象数据采样频率为 1 Hz,春、夏、秋季平均 1 min 间隔采集 1 次,冬季平均 5 min 间隔采集 1 次。

研究区风向、风速的变化和起沙风(大于沙粒

表 1 气象观测点下垫面状况

Tab. 1 Conditions of underlying surface where the meteorological observation sites were located in study area

气象站	地理坐标	植被状况	地貌类型
No. 1	80°40′55″E 37°02′31″N	柽柳、盐生草,覆盖度 3%	流沙地、地势平坦
No. 2	80°42′32″E 37°01′47″N	柽柳、骆驼刺、花花柴,覆盖度 27%	半固定沙地、地势相对起伏较大
No. 3	80°43′26″E 37°01′21″N	骆驼刺、盐生草、猪毛菜,覆盖度 67%	固定沙地、地势较平坦
No. 4	80°45′24″E 37°00′13″N	石榴、棉花,覆盖度 80% 以上	绿洲内部、地势平坦

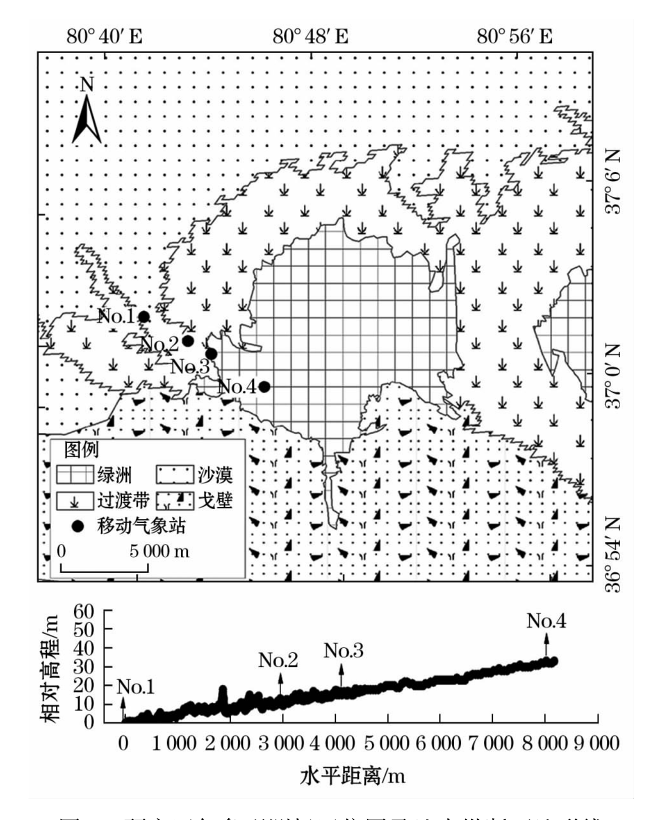


图 1 研究区气象观测场区位图及地表纵断面地形线

Fig. 1 Locations of the meteorological observation fields and the topographic lines of surface longitudinal section of the study area

起动风速的风)以及风速、气温的变化分析均采用 1~4号气象站 2010 年 8 月至 2011 年 7 月的同步气象观测数据,在观测时间内,2 号气象站点附近天然植被未遭受破坏(2011 年 8 月后 2 号气象站点附近半固定沙地遭受人为农田开垦),风沙气象条件正常,没有大面积受人类活动的干扰,观测时段具有代表性。风向变化、起沙风的分析采用 10 m 高度的气象数据,而风速的变化采用 2 m 和 10 m 高度作对比,风速、气温变化采用 2 m 高度的气象数据进行分析。数据分析和绘制图件均采用北京时间,塔克拉玛干沙漠 2 m 高的临界起动风速取 5 m·s^{-1}[21],10 m 高度的则取 6 m·s^{-1}[6-7],针对 4 个气象站的同步数据进行筛选和统计,所有气象数据均采用 Excel 2010、Origin 9.0 软件进行分析,并绘制相关图件。

2 结果与分析

2.1 平均粗糙度和摩阻风速空间变化

在大气中性层结条件下,风速廓线可用下列公

式表达:

$$u(z)=\frac{u_*}{k}\ln(z/z_0) \quad (1)$$

式中:$u(z)$代表高度 z 处的风速;z_0 和 u_* 分别代表空气动力学粗糙度和摩阻风速;a、b 为线性方程的斜率和截距,则 $z_0=e^b$,$u_*=k/a$;k 为卡曼常数(常取0.4)。根据每个气象站点6层高度的年平均风速,计算出每个站点的年平均粗糙度和摩阻风速(表2),1、2、3、4号气象观测站点近地表的平均粗糙度和摩阻风速分别为0.000 25、0.057 87、0.115 42、0.213 33 m 和 0.107 11、0.195 17、0.210 6、0.168 81 $m\cdot s^{-1}$,从策勒流沙前缘至绿洲内部,随地表植被覆盖度的增加,近地表平均粗糙度和摩阻风速总体上呈增大趋势,且粗糙度增大的幅度明显大于摩阻风速增大的幅度,说明近地表植被降低风速、拦截风沙的能力愈来愈强。

2.2 风向的变化特征

2.2.1 风向的年内变化　在观测期1 a内,不同下垫面的风向在16个方位所占比例不同,但主风向大致相同(图2)。在流沙前缘以WNW、NW、ESE、SSW、SE等风向为主,所占频率分别为14.26%、

表2　4个观测站点平均粗糙度和摩阻风速

Tab.2　Average roughness and friction wind velocity at four observation stations

站点	粗糙度/m	摩阻风速/($m\cdot s^{-1}$)	R^2
No.1	0.000 25	0.107 11	0.82
No.2	0.057 87	0.195 17	0.91
No.3	0.115 42	0.210 6	0.945
No.4	0.213 33	0.168 81	0.99

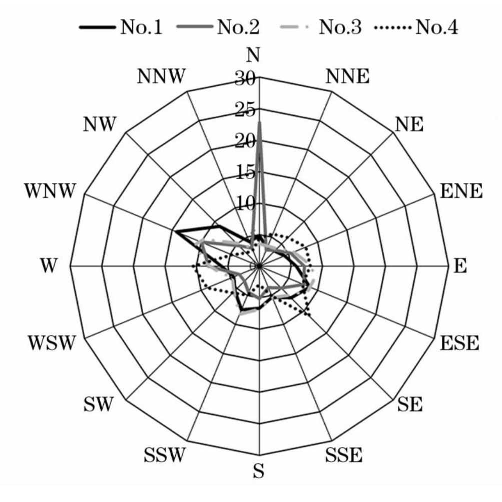


图2　不同下垫面风向玫瑰图

Fig.2　Wind roses for different underlying surfaces

8.95%、8.64%、7.48%和7.08%。半固定沙地以N、WNW、W、ESE、E等风向为主,所占频率依次为22.82%、9.99%、8.06%、7.60%和7.11%。固定沙地主要以WNW、ESE、W、E、SSW等风向为主,所占频率为11.36%、9.46%、8.40%、8.32%和8.28%。绿洲内部主要以SE、W、WSW、E、ENE等风向为主,所占频率依次为11.18%、10.49%、8.98%、8.07%和7.97%。整体来看,从流沙前缘至绿洲内部,主风向大都为WNW、ESE、W和E风向。流沙前缘、固定沙地、绿洲内部16个方位的风向所占比例变化不大,而半固定沙地的风向变化较大。半固定沙地主风向N风占22.82%,而次风向WNW风占9.99%,出现次数最少的NNE风仅占2.77%,风向之间所占比例差别较大。

2.2.2 风向的日变化　风向的日内变化具有明显的规律,N、NNE、NE、ENE方位的风频率大致从00:00开始减小,到09:00左右达到最小,然后再迅速增大,到日落时分频率最大(图3),最大频率分别为5.58%(04:00—05:00)、9.46%(15:00—16:00)、9.21%(18:00—19:00)、8.39%(19:00—20:00),最后频率逐渐减小。E、ESE、SE、SSE方位的风频率大致也呈先减小,在12:00左右突增,再不断增大的过程,在12:00—13:00时段4个方位的风频率依次为3.41%、5.56%、6.34%、8.07%,最大频率依次为8.73%(20:00—21:00)、7.95%(21:00—22:00)、7.06%(00:00—01:00)、8.08%(00:00—01:00)。S、SWW、SW、WSW方位的风频率规律大致呈先增大后减小的趋势,这与N、NNE、NE、ENE方位的风频率大致相反,这4个方位的风大致从0:00开始增大,在日出前后达到最大值,最大值依次为9.32%(05:00—06:00)、2.70%(17:00—18:00)、9.66%(08:00—09:00)、8.24%(09:00—10:00),然后逐渐减小,在14:00左右达到最小值,其后又不断增大。W、WNW、NW、NNW方位的风频率规律与S、SWW、SW、WSW的风大致相同,且比其他方位的频率多,W、WNW、NW、NNW方位的风频率大致也呈先增大后减小的趋势,最大频率分别为7.51%(10:00—11:00)、9.48%(10:00—11:00)、11.66%(23:00—00:00)、11.07%(13:00—14:00)。

从整体来看,一天中在正午以前,S、SSW、SW、WSW风所占频率较大,其中S方向的风最多。一天中从正午至凌晨,W、WNW、NW、NNW风所占频率

较大,其中NW方向的风最多。N、NNE、NE、ENE与E、ESE、SE、SSE,S、SWW、SW、WSW与W、WNW、NW、NNW风频率的变化趋势相反,可以推测该区域沙漠与绿洲之间存在着频繁的日内能量交换。而在正午时分,4组风向所占频率均有所突变,可能是温度对风向有所影响所致。

2.3 风速的变化特征

2.3.1 风速的月际变化 风速的月平均变化在不同下垫面、不同高度呈现不同的变化(图4)。在2 m高度上,从流沙前缘(No.1)至绿洲内部(No.4),最大风速分别为2.45 m·s^{-1}(6月)、1.67 m·s^{-1}(5月)、1.38 m·s^{-1}(6月)、0.48 m·s^{-1}(3月);在

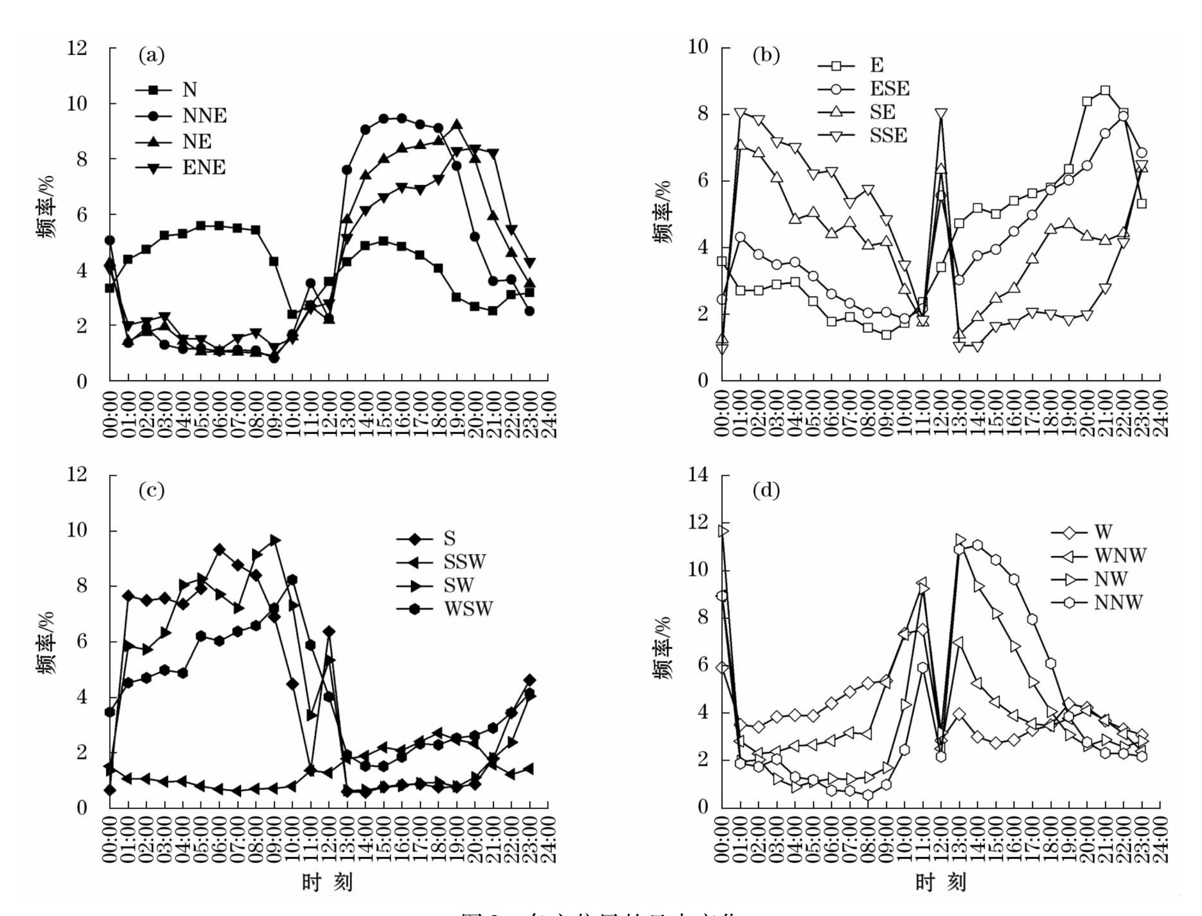


图3 各方位风的日内变化

Fig. 3 Change of wind directions

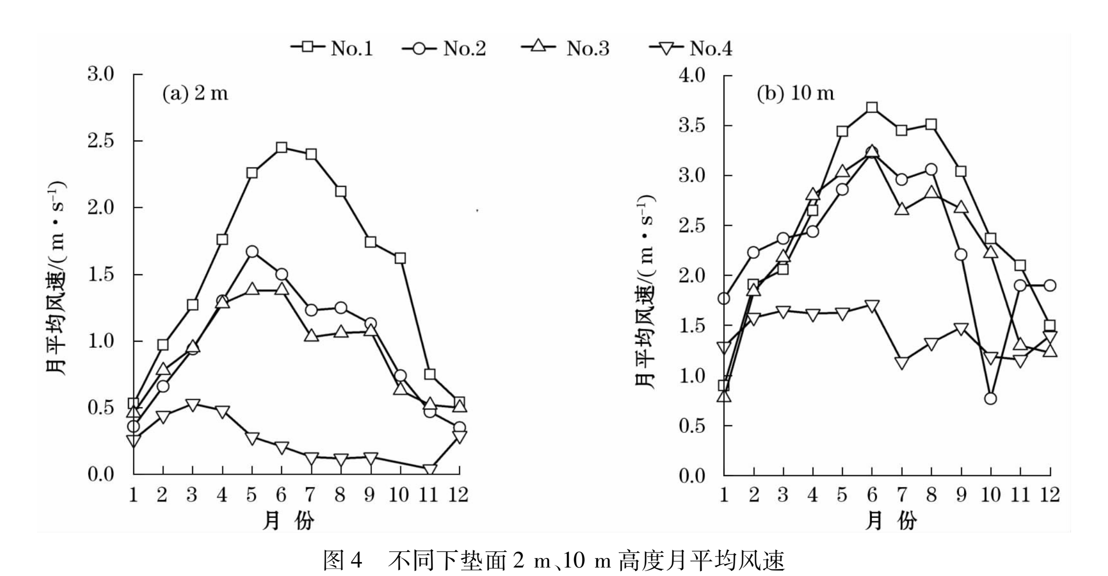


图4 不同下垫面2 m、10 m高度月平均风速

Fig. 4 Monthly-averaged wind speeds at 2 m and 10 m heights over different underlying surfaces

10 m 高度上,月平均最大风速分别为 3.68 m·s^{-1}(6 月)、3.23 m·s^{-1}(6 月)、3.23 m·s^{-1}(6 月)、1.71 m·s^{-1}(6 月)。无论是 2 m 高度还是 10 m 高度的月平均风速大都呈现出从 1 月开始增大,到 6 月左右达到最大值,然后开始减小的变化趋势,而其中在 10 m 高度上,半固定沙地 10 月的月平均风速较小,为 0.77 m·s^{-1},相比于其他站点,与 9 月相比,月平均风速下降较大。由于该月静风(风速为 0~0.5 m·s^{-1})较多,所占频率为 70.82%,从而导致该月的平均风速较小。2 m 高度的各月月平均风速,随着植被覆盖度的增加,流沙前缘的月平均风速依次大于半固定沙地、固定沙地、绿洲内部的月平均风速(图 4a);而 10 m 高度的月平均风速在不同下垫面的变化规律不明显(图 4b)。从整体上看,绿洲—沙漠过渡带春夏季风速较大,秋冬季风速较小。

2.3.2　风速的频率分布　从流沙前缘至半固定沙地、固定沙地、绿洲内部 4 个下垫面,静风所占的频率依次为 44.30%、52.44%、54.29%、85.39%,随着风速的增大,所占频率依次减小,从 8 m·s^{-1}开始,风速所占的比例越来越小,几乎为 0(图 5)。在 10 m 高度上,2~4 m·s^{-1}风速所占的比例较大,从流沙前缘至半固定沙地、固定沙地依次为 36.16%、34.08%、41.26%,在绿洲内部,0.5~2 m·s^{-1}的风速所占频率最大,为 51.81%,随风速不断增大,所占频率逐渐减小,从 10 m·s^{-1}开始,风速所占的比例越来越小,几乎为 0。从整体来看,无论是 2 m 还是 10 m 高度,同一间段的风速大都出现从流沙前缘至绿洲内部所占频率越来越小的趋势。说明随着植被覆盖度的增加,天然植被、农作物和防护林等对风速的削弱作用愈来愈强。

2.3.3　风速的日内变化　风速具有明显的日内变化,2 m 和 10 m 高度上的风速在日内变化都呈先增大后减小的趋势(图 6),都是在 14:00 左右表现出最大风速,在午夜时分表现出最小风速。在 2 m 高度上,从流沙前缘至绿洲内部,在 14:00 左右,最大风速分别为 2.65、1.87、1.81、0.63 m·s^{-1},最小风速分别为 0.71 m·s^{-1}(23:00—00:00)、0.40 m·s^{-1}(22:00—23:00)、0.37 m·s^{-1}(23:00—00:00)、0.07 m·s^{-1}(23:00—00:00)。在 10 m 高度,从流沙前缘至绿洲内部,在 14:00 左右,最大风速分别为 3.42、2.88、3.06、2.19 m·s^{-1},最小风速分别为1.90 m·s^{-1}(23:00—00:00)、1.77 m·s^{-1}(23:00—00:00)、1.63 m·s^{-1}(23:00—00:00)、1.00 m·s^{-1}(21:00—22:00)。从整体来看,风速在正午时分最大,在午夜时分达到最小值,且从流沙前缘至绿洲内部,每个小时时段的平均风速逐渐减小。

2.4　起沙风的频率、风向、月平均风速变化

起沙风频率从流沙前缘至绿洲内部呈现逐渐减小的趋势,流沙地的起沙风频率依次大于半固定沙地、固定沙地、绿洲内部(图 7),这表明过渡带天然植被、绿洲人工防护林和农作物等能减少近地表起沙风频数,本区域应加强绿洲防护林建设,组合种植不同高度的植物,达到防沙的目的。起沙风频率从 1 月开始不断增大,在 6、7 月起沙风频率达到最大值,而后频率逐渐减小。从流沙前缘至半固定沙地、固定沙地、绿洲内部,起沙风最大频率依次为

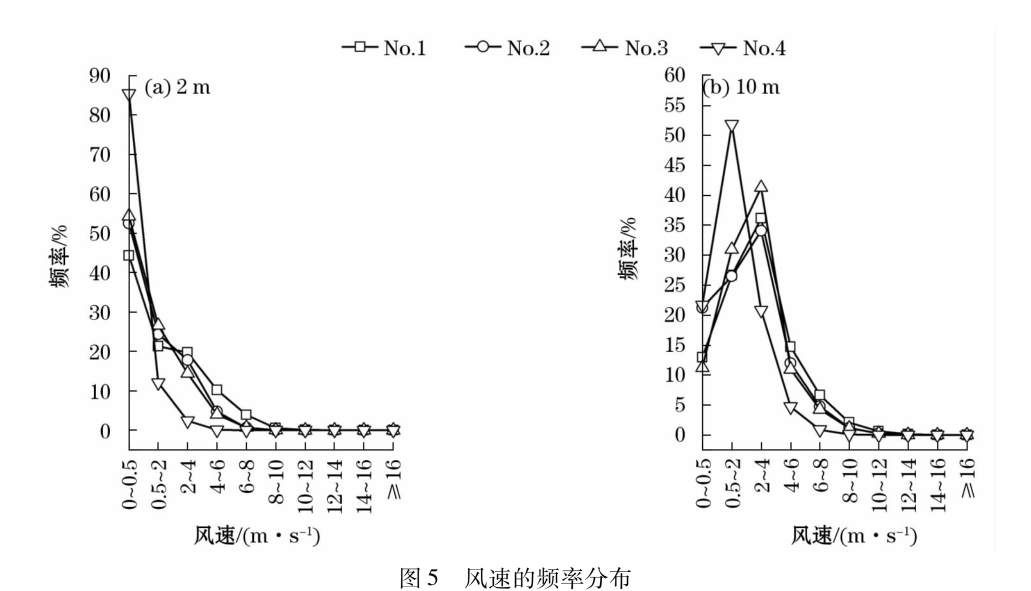


图 5　风速的频率分布

Fig. 5　The frequency distribution of wind speed

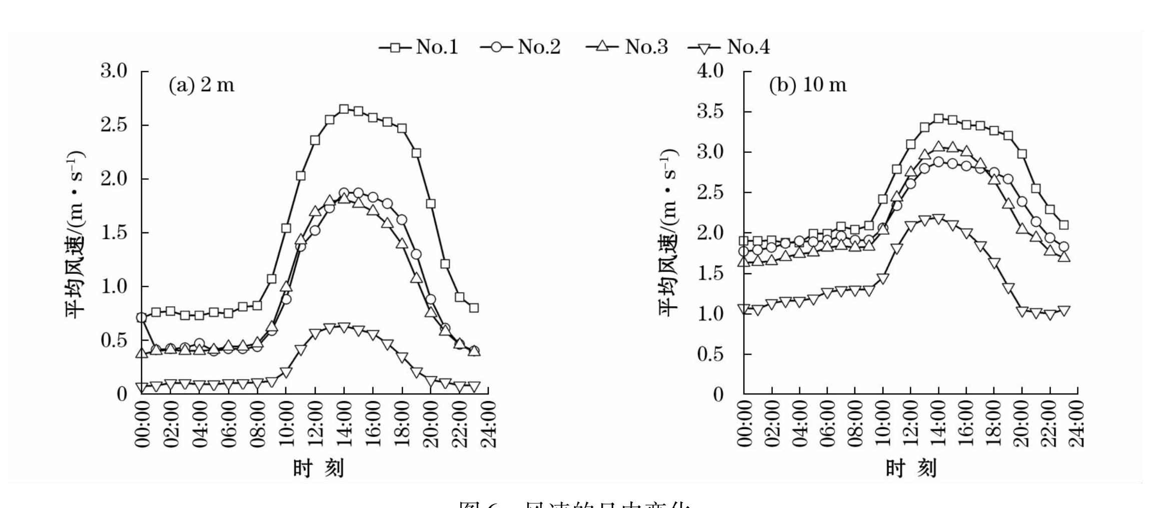


图 6　风速的日内变化

Fig. 6　Change of wind speed

19.29%(7 月)、12.69%(6 月)、11.85%(6 月)、2.59%(6 月)。相比于流沙地,半固定沙地、固定沙地、绿洲内部起沙风最大频率分别降低了 34.21%、38.57%、86.57%。相比于春、夏季,秋、冬季节出现起沙风的频率较小,本区域应该在春、夏季做好防风阻沙的相应措施。

不同下垫面的起沙风风向,从流沙前缘至绿洲内部主风向大体相同,主风向由 WNW 风逐渐转变为 W、WSW 风(图 8)。从流沙前缘至绿洲内部主风向大都为 WNW、NW 和 W 风。流沙前缘主风向为 WNW、NW 风向,所占频率分别为 45.27%、26.05%。半固定沙地主风向为 WNW、W、N 风向,所占频率分别为 42.41%、22.05%、11.04%。固定沙地主风向为 WNW、W、NW 风向,所占频率依次为 54.73%、21.84%、12.11%。绿洲内部主风向为 W、WSW、WNW,所占频率分别为 54.13%、30.02%、11.58%。流沙前缘、半固定沙地、固定沙地的起沙风主风向为 WNW 风向和绿洲内部的主风向为 W 风向,这两个风向所占比例较大,接近于 50% 或略大于 50%,其他风向所占比例较少。

4 个下垫面的起沙风的月平均风速变化相似,4 个下垫面的起沙风的月平均风速均从 1 月开始增大(图 9),在 2—9 月 4 个下垫面的起沙风月平均风速都在 6 ~ 8 m·s^{-1}之间波动,在 10 月时达到最大,从流沙前缘至半固定沙地、固定沙地、绿洲内部最大值分别为 8.61、9.03、8.68、7.65 m·s^{-1}。由起沙风的频率分布可知,从 10 月开始,起沙的频率越来越小,近乎为 0。由于起沙风出现的次数越来越少,导致 10 月起沙风的月平均风速较大。而绿洲内部,在 11 月没有起沙风,此时的起沙风月平均风速为 0 m·s^{-1}。本区域从 4 月开始,起沙风出现的频率较大,且风速在不断增加,应该在 4 月就做好防风阻沙

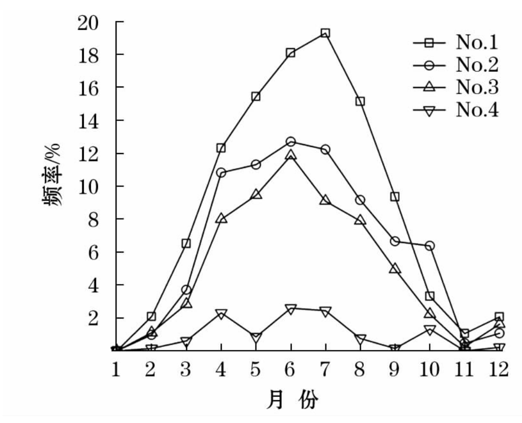


图 7　起沙风频率分布

Fig. 7　The frequency distribution of sand-driving wind

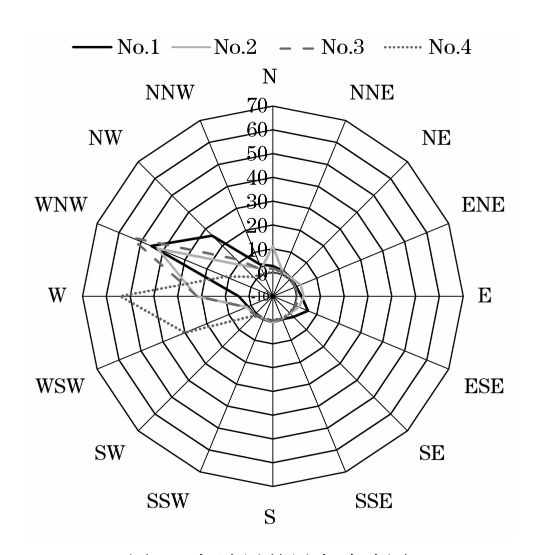


图 8　起沙风的风向玫瑰图

Fig. 8　Wind rose of sand-driving wind

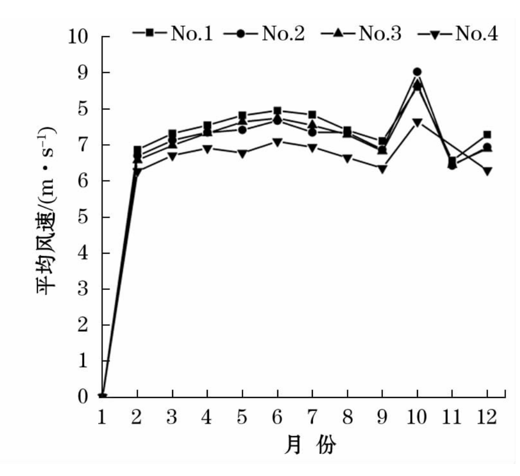


图 9　起沙风月平均风速

Fig. 9　Monthly-averaged wind speed of sand-driving wind

措施。4 个下垫面的起沙风月平均风速略有差异,从流沙前缘至绿洲内部逐渐减小,绿洲内部因有农田、防护林等,风速被削减得多,应加强绿洲防护林的建设,达到更好的防风阻沙的目的。

2.5　月平均风速、气温变化及相关性分析

从流沙前缘至半固定沙地、固定沙地、绿洲内部,月平均风速均从 1 月开始增大,到 6 月左右达到最大值,然后开始减小(图 10)。月平均温度从 1 月开始升高,在 7 月左右达到最高温度,然后开始降低。在不同下垫面风速和气温呈现同步变化,组瑞平等[8-9]对塔克拉玛干沙漠风况研究也发现,风速无论是月际变化还是日内变化,都呈现“风热同步”的趋势,本文也验证了这个结论。这种变化关系是该区的高空环流形式、太阳辐射等年内变化的结果。此外,也出现气温略微滞后风速的现象,气温和风速出现夏季大于春季、秋季、冬季的规律,表明气温的高低会影响风速的大小。

在 4 个下垫面,大都在 6 月平均风速达到最大,6 月平均风速依次为 2.45、1.50、1.38、0.21 m·s⁻¹,相比于流沙地,半固定沙地、固定沙地、绿洲内部月平均风速依次降低了 38.76%、43.67% 和 91.43%。在冬季 1 月平均风速最小,1 月平均风速依次为 0.53、0.36、0.46、0.34 m·s⁻¹,半固定沙地、固定沙地、绿洲内部月平均风速分别比流沙地降低了 32.08%、13.21% 和 35.85%。在绿洲内部,最大风速在 3 月达到最大,风速为 0.53 m·s⁻¹,10 月风速最小,为 0 m·s⁻¹,表明植被对风速的消减作用明显,使绿洲内部的变化与其他下垫面不同。一年中,月平均气温呈现先上升后下降的趋势,从流沙前缘至绿洲内部,月平均气温有逐渐降低的趋势,说明绿洲在夏季具有一定的降温作用。风速的月际变化趋势与气温的月际变化趋势基本一致。

从流沙地、固定沙地、半固定沙地至绿洲内部,月平均风速与气温的决定系数分别为 0.905、0.735、0.679、0.023(图 11),线性相关性程度依次降低,且拟合函数的斜率不断增大,说明沿主风向从策勒流沙前缘至绿洲内部,月平均风速比月平均气温降低的幅度大,近地表大气层结变得越来越稳定,植被起到了较好的防风阻沙作用。绿洲内部的风速、气温之间相关性不明显,主要受到较高的植被覆盖度、农田灌溉等人为活动的影响。

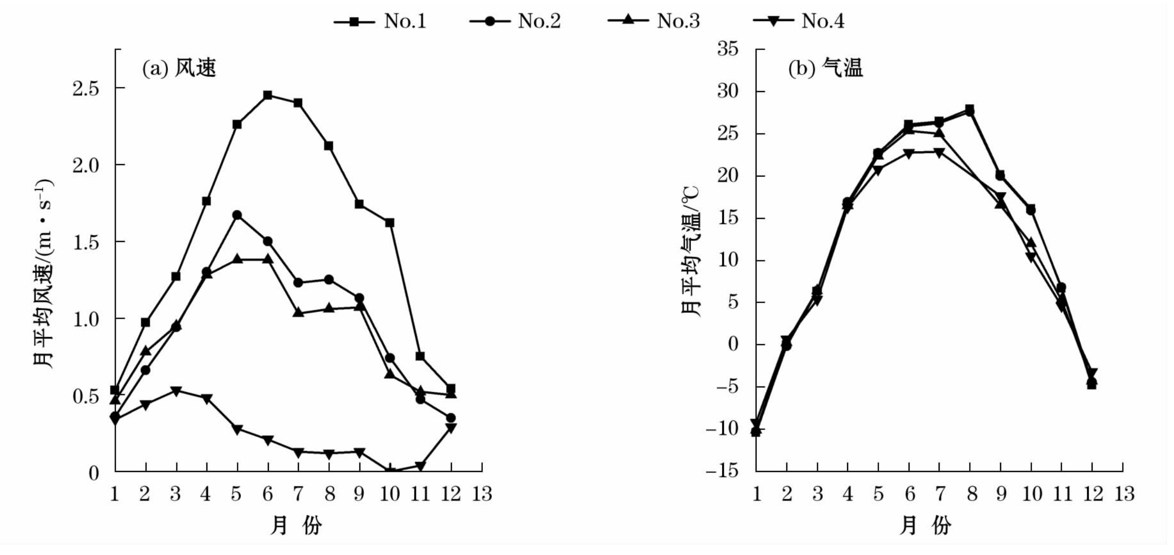


图 10　4 个下垫面月平均风速和气温的变化

Fig. 10　Changes of monthly-averaged wind speed and air temperature over four underlying surfaces

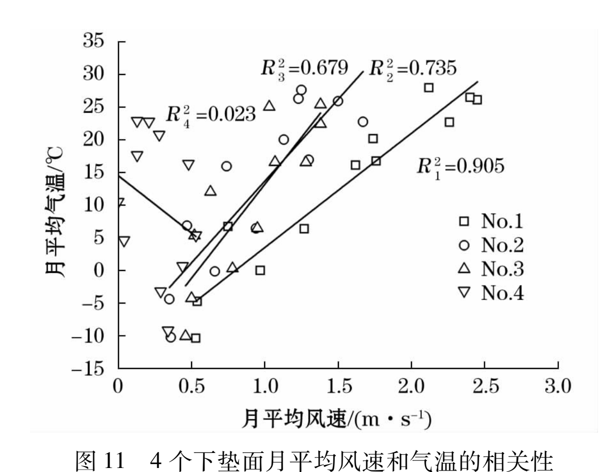


图 11　4 个下垫面月平均风速和气温的相关性

Fig. 11　Correlation between monthly-averaged wind speed and air temperature over four underlying surfaces

3　讨论与结论

气温和风速同步变化，风速具有明显的时空变化，风速在日出前后开始增大，正午前后达到最大值，在午夜时分最小，且月平均风速在夏季最大，冬季最小，该结论与组瑞平等[8]提出"风热同步"现象基本一致。策勒绿洲内部相比于沙漠前缘表现为冬暖夏凉[22]，绿洲内部由于防护林和农作物植被的防护作用，从绿洲外围进入到绿洲内部后风速被大幅度地削减，因此绿洲内部风温热并不同步变化。据组瑞平分析，出现"风热同步"现象的原因主要是由沙漠内部与周边不同下垫面之间的热力性质差异所造成的，在炎热的夏季，沙漠内部热量巨大，与边缘地区形成较大的温度梯度，受热不均形成的压力差引起大气运动，导致周边风系都向沙漠腹地汇聚，在这一过程中风力也会逐渐增强，从而使沙漠内部出现了"风热同步"现象。由于植被能使风向变得更加分散，相反风向抵消或减弱风速，因此从流沙前缘至绿洲内部具有风速随风向变化而不同的特点。有些学者研究策勒绿洲—沙漠过渡带风速脉动和小气候特征指出，随着植被覆盖度增加，风速脉动（也就是植被对风速的阻挡作用）加强[23]，夏季风速减弱，气温降低[24]。3—5 月策勒风沙活动强烈，植物尚未返青、地表裸露程度高，应做好防沙措施。由于不同下垫面的植被存在一定的差异性，流沙前缘、固定沙地、半固定沙地和绿洲内部观测点的月平均风速、起沙风频率从流沙前缘至绿洲内部呈减小（少）的趋势，表明植被具有削弱风速的效应。因此，要重视防护林的建设和农田的保护，阻止人为对绿洲—沙漠过渡带的破坏等。

邢文娟等[14]研究指出，策勒起沙风主要发生在春夏季，且春夏季起沙风平均风速较大；王桂玲等[25]对北京市 5 a 的气象资料进行分析，指出风场的季节变化主要由大尺度背景风场决定的，冬季风场主要受地形动力作用，而夏季则受热力作用的影响，流场的垂直分布主要受背景风场和地形因素共同作用，具有很强的局地环流效应。而本文在研究起沙风时发现，从策勒流沙前缘至绿洲内部，起沙风风速和频率均逐渐减小（少），可以推测从流沙前缘至绿洲内部植被覆盖度不断增大，随着地表粗糙度的增加，风速逐渐削减。除地表粗糙度的影响外，可能还受地转偏向力的影响，在北半球向右偏转，纬度越高，偏转角度越大，起沙风的相应变化越大。

毛东雷等[19]研究发现，流沙地的月平均风速、气温呈较好的正相关，从沙漠前缘至绿洲内部，风温相关性逐渐减弱，说明随着植被覆盖度的增加，风温之间的相关性越来越差，表明植被能有效削减风速和降低夏季近地表温度。目前，策勒绿洲—沙漠过渡带由于盲目开垦，植被发生退化，植被的防风阻沙效益有所减弱，因此应加强绿洲—沙漠过渡带的天然植被生态恢复建设，发挥其良好的防风阻沙功能。

从策勒流沙前缘至绿洲内部，近地表平均粗糙度和摩阻风速总体呈增大趋势，风向以 WNW 和 W 为主，一天中在正午以前，S 方向的风最多，一天中从正午到凌晨这一时段，NW 方向的风最多。夏季风速最大，冬季风速最小，风速在正午时分最大，在午夜时分最小。从流沙前缘至绿洲内部，平均风速、起沙风频率都呈逐渐减小的趋势，且起沙风多出现在春、夏两季，起沙风的风向从 WNW 方向转变为 W、WSW 方向。一年中，月平均风速与月平均气温变化趋势基本一致，二者呈显著正相关关系，从流沙前缘至绿洲内部，相关性依次减弱。

参考文献（References）：

〔1〕　王玉朝，赵成义．绿洲—荒漠生态脆弱带的研究〔J〕．干旱区地理，2001，24（2）：182－188．〔Wang Yuchao，Zhao Chengyi. Study in desert-oasis ecological fragile zone〔J〕. Arid Land Geography，2001，24（2）：182－188．〕

〔2〕　穆桂金，贺俊霞，雷加强，等．再议绿洲—沙漠过渡带——以策勒绿洲—沙漠过渡带为例〔J〕．干旱区地理，2013，36（2）：195－202．〔Mu Guijin，He Junxia，Lei Jiaqiang，et al. A discussion on the transitional zone from oasis to sandy desert：A case study at Cele oasis〔J〕. Arid Land Geography，2013，36（2）：195－202．〕

〔3〕　Hadas Saaroni，Arieh Bitan，Eyal Ben Dor，et al. The mixed results

concerning the ‘oasis effect’ in a rural-settlement in the Negev Desert, Israel〔J〕. Journal of Arid Environments, 2003, 58(2): 235 – 248.

〔4〕 王柯,何清,王敏仲,等. 塔克拉玛干沙漠腹地特征层风场特征〔J〕. 干旱气象,2011,29(3):302 – 305.〔Wang Ke, He Qing, Wang Minzhong, et al. Wind field feature of characteristic layer in the hinterland of the Taklimakan Desert〔J〕. Journal of Arid Meteorology, 2011, 29(3): 302 – 305.〕

〔5〕 张克存,安志山,蔡迪文,等. 典型天气背景下沙漠绿洲过渡带近地表风动力空间变化特征〔J〕. 干旱区地理,2016,39(5):1 004 – 1 010.〔Zhang Kecun, An Zhishan, Cai Diwen, et al. Spatial variation of wind dynamical characteristics in the desert-oasis transitional zone under typical weather conditions〔J〕. Arid Land Geography, 2016, 39(5): 1 004 – 1 010.〕

〔6〕 陈渭南,董治宝,杨佐涛,等. 塔克拉玛干沙漠的起沙风速〔J〕. 地理学报,1995,50(4):360 – 367.〔Chen Weinan, Dong Zhibao, Yang Zuotao, et al. Threshold velocities of sand-driving wind in the Taklimakan Desert〔J〕. Acta Geographica Sinica, 1995, 50(4): 360 – 367.〕

〔7〕 李振山,陈广庭. 塔克拉玛干沙漠起沙风况〔J〕. 中国沙漠,1999,19(1):43 – 45.〔Li Zhenshan, Chen Guangting. Effective wind regime in the Taklimakan Desert〔J〕. Journal of Desert Research, 1999, 19(1): 43 – 45.〕

〔8〕 俎瑞平,张克存,屈建军,等. 塔克拉玛干沙漠风况特征研究〔J〕. 干旱区地理,2005,28(2):167 – 170.〔Zu Ruiping, Zhang Kecun, Qu Jianjun, et al. Study on wind regime characteristics in the Taklimakan Desert〔J〕. Arid Land Geography, 2005, 28(2): 167 – 170.〕

〔9〕 俎瑞平,张克存,屈建军. 塔克拉玛干沙漠风沙活动强度特征〔J〕. 地理研究,2005,24(5):699 – 707.〔Zu Ruiping, Zhang Kecun, Qu Jianjun. The intensity of sand-drift activities in Taklimakan Desert〔J〕. Geographical Research, 2005, 24(5): 699 – 707.〕

〔10〕 鲍锋,董治宝,张正偲. 柴达木盆地风沙地貌区风况特征〔J〕. 中国沙漠,2015,35(3):549 – 554.〔Bao Feng, Dong Zhibao, Zhang Zhengcai. Wind regime in the Qaidam Basin desert〔J〕. Journal of Desert Research, 2015, 35(3): 549 – 554.〕

〔11〕 杨东亮,王雪芹,胡永峰,等. 绿洲—沙漠过渡带风况资料统计中的若干问题研究——以策勒绿洲为例〔J〕. 干旱区地理,2015,38(3):549 – 555.〔Yang Dongliang, Wang Xueqin, Hu Yongfeng, et al. Some problems in wind data analyzing in oasis-desert ecotone: A case of Qira oasis〔J〕. Arid Land Geography, 2015, 38(3): 549 – 555.〕

〔12〕 王永胜,杨文斌,李永华,等. 库姆塔格沙漠东缘荒漠—绿洲过渡带风况及输沙势〔J〕. 干旱区资源与环境,2015,29(1):140 – 144.〔Wang Yongsheng, Yang Wenbin, Li Yonghua, et al. Wind regime and resultant sand-transporting potential in the desert-oasis ecotone in the eastern marginal zone of the Kumtag Desert〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(1): 140 – 144.〕

〔13〕 张华,李锋瑞,李玉霖,等. 科尔沁沙地奈曼旗近 5 年来风况及合成输沙势〔J〕. 中国沙漠,2004,24(5):623 – 627.〔Zhang Hua, Li Fengrui, Li Yulin, et al. Wind regime and resultant sand-transporting potential of Naiman banner in Horqin sandy land during past five years〔J〕. Journal of Desert Research, 2004, 24(5): 623 – 627.〕

〔14〕 邢文娟,雷加强,王海峰,等. 荒漠—绿洲过渡带风况及输沙势分析——以策勒县为例〔J〕. 干旱区研究,2008,25(6):894 – 898.〔Xing Wenjuan, Lei Jiaqiang, Wang Haifeng, et al. Analysis on wind regime and wind borne sand potential in a desert-oasis ecotone: A case study in Qira County, Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research, 2008, 25(6): 894 – 898.〕

〔15〕 张正偲,董治宝. 黑河流域中游沙漠风能环境与风沙地貌〔J〕. 中国沙漠,2014,34(2):332 – 341.〔Zhang Zhengcai, Dong Zhibao. Dune field patterns and wind environments in the middle reaches of the Heihe Basin〔J〕. Journal of Desert Research, 2014, 34(2): 332 – 341.〕

〔16〕 俎瑞平,张克存,屈建军,等. 塔克拉玛干沙漠地面风场特征及周边地区沙丘排列关系分析〔J〕. 应用气象学报,2005,16(4):468 – 475.〔Zu Ruiping, Zhang Kecun, Qu Jianjun, et al. Characteristics of surface winds in Taklamakan deserts and their relationship to the orientation of dunes in neighboring regions〔J〕. Journal of Applied Meteorological Science, 2005, 16(4): 468 – 475.〕

〔17〕 杨佐涛. 戈壁与绿洲内的风向风速关系——以新疆策勒县为例〔J〕. 中国沙漠,1990,10(3):33 – 39.〔Yang Zuotao. Relations between wind velocity and direction in gobi area and oasis〔J〕. Journal of Desert Research, 1990, 10(3): 33 – 39.〕

〔18〕 毛东雷,雷加强,曾凡江,等. 策勒绿洲—沙漠过渡带风沙活动强度的空间分布特征〔J〕. 水土保持学报,2013,27(2):13 – 19.〔Mao Donglei, Lei Jiaqiang, Zeng Fanjiang, et al. Spatial distribution characteristics of sand blown activities intensity on Cele oasis-desert ecotone〔J〕. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(2): 13 – 19.〕

〔19〕 毛东雷,蔡富艳,杨雪峰,等. 新疆策勒绿洲—沙漠过渡带风、温、湿相关性分析〔J〕. 干旱区研究,2017,34(4):931 – 941.〔Mao Donglei, Cai Fuyan, Yang Xuefeng, et al. Correlations among wind speed, air temperature and relative humidity in oasis-desert ecotone in Qira, Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(4): 931 – 941.〕

〔20〕 张鹤年. 塔克拉玛干沙漠南缘—绿洲过渡带生态环境区综合治理技术与试验示范研究〔J〕. 干旱区研究,1995,12(4):1 – 9.〔Zhang Henian. Research on comprehensive control technology and experimental demonstration of ecological environment district of desert-oasis ecotone on southern Taklimakan Desert〔J〕. Arid Zone Research, 1995, 12(4): 1 – 9.〕

〔21〕 杨兴华,何清,霍文,等. 塔克拉玛干沙漠南缘风沙跃移运动研究——以策勒县为例〔J〕. 中国沙漠,2012,32(4):910 – 914.〔Yang Xinghua, He Qing, Huo Wen, et al. Sand saltation in the south margin of the Taklimakan Desert: A case study in Cele county〔J〕. Journal of Desert Research, 2012, 32(4): 910 – 914.〕

〔22〕 毛东雷,蔡富艳,雷加强,等. 新疆策勒沙漠—荒漠—绿洲典型下垫面小气候空间变化分析〔J〕. 地理科学,2017,37(4):630 – 640.〔Mao Donglei, Cai Fuyan, Lei Jiaqiang, et al. Spatial analysis on changes of microclimate in typical landscapes in desert-wilderness-oasis in Cele, Xinjiang〔J〕. Scientia Geographica Sinica,

2017,37(4):630－640.〕

〔23〕王雪芹,杨东亮,马洋,等.沙漠—绿洲过渡带典型下垫面风速脉动特征——以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲为例〔J〕.中国沙漠,2015,35(3):542－548.〔Wang Xueqin, Yang Dongliang, Ma Yang, et al. Wind fluctuation of three typical ground surfaces in desert-oasis ecotone: A case at the southern rim of the Taklimakan Desert〔J〕. Journal of Desert Research, 2015, 35(3):542－548.〕

〔24〕庞营军,雷加强,曾凡江,等.新疆维吾尔自治区策勒县绿洲—沙漠过渡带小气候特征〔J〕.水土保持通报,2011,31(5):240－245.〔Pang Yingjun, Lei Jiaqiang, Zeng Fanjiang, et al. Microclimatic characteristics of oasis-desert transitional zone in Qira county of Xinjiang Wei autonomous region〔J〕. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(5):240－245.〕

〔25〕王桂玲,蒋维楣.复杂地形上的低层风场特征〔J〕.解放军理工大学学报(自然科学版),2006,7(5):491－495.〔Wang Guiling, Jiang Weimei. Characteristics of wind field in low layer over complex terrain〔J〕. Journal PLA University of Science and Technology, 2006, 7(5):491－495.〕

Characteristics of Wind Filed over Different Underlying Surfaces in the Oasis-Desert Ecotone in Qira, Xinjiang

MAO Dong-lei[1,2], CAI Fu-yan[3], YANG Xue-feng[1], WANG Xue-mei[1], LAI Feng-bing[1], XUE Jie[2,4]

(1. *College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University/ Xinjiang Key Laboratory of Lacustrine Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi* 830054, *Xinjiang, China*;

2. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*;

3. *College of Applied Engineering, Urumqi Vocational University, Urumqi* 830002, *Xinjiang, China*;

4. *Qira National Station of Observation and Research for Desert-grassland Ecosystem, Qira* 848300, *Xinjiang, China*)

Abstract: Based on the meteorological data in Qira County, Xinjiang from August 2010 to July 2011, the statistical analysis method was used to analyze the wind regime over four different underlying surfaces including the shifting sandy land, semi-fixed sandy land, fixed sandy land in oasis-desert ecotone and oasis in Qira. The study results could provide a theoretical basis for further studying the spatial and temporal characteristics of wind field and the effects of vegetation against wind and drifting sand. The results showed that the wind directions in the study area were dominated by WNW and W, and their frequencies were 41.43% and 33.74% respectively. The calm frequencies over the shifting sandy land, semi-fixed sandy land, fixed sandy land and oasis accounted for 44.30%, 52.44%, 54.29% and 85.39% respectively, and these frequencies were decreased gradually with the increase of wind speed. The changes of air temperature and wind speed were in a synchronous trend. The high sand-driving wind frequency and the monthly-averaged maximum wind speed occurred mostly in spring and summer, especially in June. Although the maximum values occurred in different months, the change trend was similar. From the periphery to the central area of the oasis, the wind direction and the frequency of prevailing wind direction were decreased, which indicated that the vegetation could reduce wind speed and disperse wind direction. The average wind speed and sand-driving wind frequency were gradually decreased from the shifting sandy land to the central area of the oasis. There was a significant correlation between the monthly-averaged air temperature and monthly-averaged wind speed, and the correlation was gradually decreased from the shifting sandy land to the central area of the oasis. Vegetation types, vegetation coverage and topography are the main factors affecting the variation of wind fields over the different underlying surfaces.

Key words: oasis-desert ecotone; underlying surfaces; wind direction; wind speed; sand-driving wind; frequency; air temperature; Qira